

KARAKTERISASI SIFAT OPTIK LAPISAN TIPIS ZnO:Al PADA SUBSTRAT GELAS UNTUK JENDELA SEL SURYA

Wirjoadi, Yunanto, Bambang Siswanto, Sri Sulamdari, Sudjatmoko

Puslitbang Teknologi Maju – BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, Yogyakarta 55010

ABSTRAK

KARAKTERISASI SIFAT OPTIK LAPISAN TIPIS ZnO:Al PADA SUBSTRAT GELAS UNTUK JENDELA SEL SURYA. Telah dilakukan karakterisasi sifat-sifat optik lapisan tipis ZnO:Al pada substrat gelas untuk jendela sel surya dengan metode sputtering. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh lapisan tipis ZnO:Al yang dapat digunakan sebagai bahan TCO (Transparent Conducting Oxide) untuk sel surya silikon amorf. Untuk mendapatkan lapisan tipis ZnO:Al dengan sifat optik optimum, proses deposisi dilakukan dengan beberapa variasi parameter, yaitu variasi konsentrasi campuran Al, suhu substrat, tekanan gas dan waktu deposisi. Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan diperoleh hasil lapisan tipis ZnO:Al yang optimum pada kondisi suhu 450 °C, tekanan gas 6×10^{-2} torr dan lama waktu deposisi 1,5 jam. Dari pengukuran sifat-sifat optik (transmitansi) dengan UV-vis diperoleh hasil optimum pada suhu 450 °C. Pada kondisi ini transmitansinya sekitar (50-82) %, pada tekanan gas 6×10^{-2} torr sekitar (50-80) % dan pada waktu deposisi 1,5 jam sekitar (49-81) % yang semuanya pada posisi panjang gelombang (500-800) nm.. Untuk lapisan tipis ZnO diperoleh hasil transmitansi sekitar (78 - 80) % pada posisi panjang gelombang (500-800) nm. Hasil foto dengan SEM, untuk lapisan tipis ZnO diperoleh tebal lapisan sekitar 1,5 μ m, morfologi permukaan dan butiran-butiran kecil terdistribusi secara homogen. Sedangkan untuk lapisan tipis ZnO:Al diperoleh tebal lapisan sekitar 1,3 μ m dan morfologi permukaan yang terbentuk dengan butiran-butiran yang tidak seragam.

ABSTRACT

Characterization of thin film optic properties of ZnO:Al on glass substrate for solar cell window. It has been characterized a ZnO:Al thin film growth using sputtering technique for solar cell window. The aims of this research is to get a ZnO:Al thin film that can be used as a TCO (Transparent Conducting Oxide) on amorphous silicon solar cell. To get an optimum properties, deposition process has been done for various parameters, such as composition/concentration of Al, substrat temperatur, gas pressure and deposition time. Based on experiments result, it's found that the optimum result was achieved at temperatur 450 °C, gas pressure 6×10^{-2} torr and time 1,5 hours. From optical properties (transmittance) measurements using UV-vis, it was found that the optimum results was achieved at temperatur 450 °C. At this conditions, wave length (500-800) nm, the transmittance was (50-82) %, at pressure 6×10^{-2} torr the transmittance was (50- 80) % and at deposition time 1,5 hours was (49-81) %. For ZnO thin film, was at wave length (500-800) nm, the transmittance was (78 - 80) %. From micro structure analysis using SEM, it was found that the thickness layer of ZnO was 1,5 μ m and 1,3 μ m for ZnO:Al. While from surface morphologi it was found that for ZnO thin layer the grains was distributed homogenously, while for ZnO:Al the grains was distributed unhomogenously.

PENDAHULUAN

Pada tahun terakhir ini sel surya silikon amorf (a-Si) telah menjadi perhatian para peneliti karena biaya pembuatannya jauh lebih murah apabila dibandingkan dengan sel surya silikon kristal. Efisiensi konversi dari jenis silikon amorf tersebut pada saat ini

telah mencapai lebih dari 13 %. Yang menjadi masalah adalah bagaimana usaha untuk menaikkan efisiensi konversi, yang salah satu caranya yaitu dengan menggunakan lapisan tipis konduktif yang transparan.

Ada beberapa jenis lapisan tipis konduksi transparan yaitu SnO₂, ITO dan

TCO. SnO_2 harganya sangat murah, akan tetapi nilai resistivitasnya jauh lebih tinggi dari pada ITO (Indium Tin Oxide), sedangkan ITO merupakan campuran SnO_2 dan In_2O_3 ; adapun perbandingan Sn : In sekitar 5 : 95. Keunggulan dari ITO adalah resistivitasnya rendah, tetapi proses pembuatan In sangat mahal. Oleh karena itu, pada saat ini dikembangkan lapisan tipis lainnya untuk lapisan konduktif transparan. Salah satu jenis bahan lapisan tipis TCO (*Transparent Conducting Oxide*) adalah ZnO. Lapisan tipis ZnO yang akan dicampur dengan sedikit Al adalah merupakan salah satu bahan TCO, karena itu selain resistivitasnya sangat rendah, harganya murah dan sifat-sifat optiknya yang baik, juga mempunyai kestabilan yang tinggi dalam plasma hidrogen dan dapat ditumbuhkan dalam suhu yang rendah.

Penelitian ini diharapkan memperoleh hasil lapisan tipis ZnO:Al yang akan dapat digunakan sebagai bahan TCO (Transparent Conducting Oxide) untuk sel surya silikon amorf. Untuk mendapatkan lapisan tipis ZnO:Al maka telah dilakukan variasi pembuatan target ZnO yang dicampur dengan sedikit Al, sehingga didapatkan hasil optimum pada target ZnO:Al dengan campuran sekitar (1,05 %) berat Al. Sifat-sifat optik (transmitansi) lapisan tipis ZnO:Al yang terdeposisi pada permukaan substrat gelas sangat tergantung pada parameter-parameter sputtering yaitu suhu substrat, tekanan gas dan waktu deposisi.

Penelitian ini telah dilakukan deposisi lapisan tipis ZnO:Al pada substrat gelas dengan metode sputtering. Untuk mendapatkan lapisan tipis ZnO:Al yang optimum telah dilakukan variasi parameter sputtering yang meliputi suhu 200; 250; 300; 350; 400 dan 450 °C, tekanan gas 6×10^{-2} dan 8×10^{-2} torr, lama waktu deposisi 1,5; 2 dan 2,5 jam

Metode yang dipakai untuk karakterisasi lapisan tipis adalah dengan peralatan UV-vis yang sangat tepat untuk menentukan prosentase nilai transmitansi

sedangkan untuk mengetahui ketebalan lapisan dan morfologi permukaan dengan SEM.

TATA KERJA

Dalam penelitian ini yang dilakukan meliputi tahapan persiapan bahan cuplikan untuk substrat, pembuatan target ZnO yang dicampur dengan sedikit Al dan divariasi persen berat, persiapan peralatan untuk penelitian, pelaksanaan penelitian, pendeposisian lapisan tipis ZnO:Al pada substrat gelas, karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) hasil lapisan tipis ZnO:Al dengan UV-vis, pengamatan struktur kristal dengan XRD (*X Ray Diffraction*) dan analisis data dari foto struktur mikro yang diamati dengan SEM (Scanning Electron Microscopy).

A. Persiapan Penelitian

1. Persiapan Bahan

Bahan utama yang disiapkan dalam penelitian ini yaitu pembuatan bahan target serbuk ZnO yang dicampur dengan sedikit serbuk Al yang divariasi persen berat Al yaitu 0,5; 0,79; 1,05; 1,32 dan 1,59 %, kemudian dibuat dalam bentuk pelet. Dalam pembuatan pelet untuk target tersebut telah terbentuk lempeng bundar berdiameter 60 mm, tebal 2 mm dan dilakukan dengan tekanan pengepresan 50 N. Sebelum dilakukan pengepresan, serbuk ZnO yang dicampur dengan sedikit Al diaduk-aduk dulu supaya kedua campuran bahan tersebut bisa merata atau homogen. Sedangkan bahan pendukung penelitian lainnya yang telah disiapkan terdiri dari gas Argon dan bahan gelas preparat yang digunakan sebagai substrat.

2. Persiapan Peralatan Penelitian

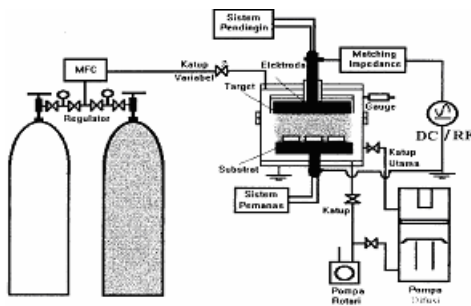
a). Reaktor Plasma

1. Tabung reaktor dari stainless steel yang dilengkapi dengan sebuah jendela kaca.
2. Pemegang target dan pemegang substrat.
3. Catu daya arus searah.
4. Alat ukur arus, tegangan dan vakum.

5. Pompa vakum (rotari dan difusi).
6. Pemanas substrat.
7. Pendingin target.

b). Alat-alat karakterisasi

1. Karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) dengan peralatan UV-vis
2. Peralatan XRD (*Difraksi Sinar X*).
3. Peralatan SEM (*Scanning Electron Microscope*).



Gambar 1. Skema Sistem Deposisi Sputtering

B. Pelaksanaan Penelitian

1. Pembuatan Substrat

Substrat dibuat dari bahan gelas preparat yang dipotong-potong dengan ukuran 1 cm x 2 cm. Substrat tersebut dicuci dengan deterjen dan alkohol menggunakan ultrasonic cleaner. Setelah bersih substrat dibersihkan dengan tissue, dikeringkan dengan pemanas, kemudian dibersihkan lagi dengan acetone selanjutnya dimasukkan dalam pembungkus plastik klip.

2. Pembuatan Lapisan Tipis ZnO:Al

Pembuatan lapisan tipis ZnO:Al dilakukan dengan metode *sputtering* DC dan skema peralatan seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Target ZnO:Al dipasang pada katode dan substrat diletakkan pada anode. Udara di dalam tabung reaktor divakumkan dengan pompa rotari dan difusi yang tekanannya sampai dengan 10^{-5} torr dapat digunakan untuk membersihkan partikel-partikel yang tidak dikehendaki. Setelah beberapa menit pompa vakum difusi dimatikan, kemudian gas argon dialirkan

melalui kran, sehingga tekanan gas di dalam tabung reaktor akan naik menjadi 10^{-2} torr. Pada bagian katoda didinginkan dengan air pendingin supaya suhu pada target tidak naik karena tertumbuk ion argon. Kemudian pada bagian anoda (tempat substrat) justru dipanaskan untuk memperbesar frekuensi getaran atom substrat. Apabila penyedia daya tegangan tinggi DC dihidupkan, maka gas argon yang ada pada celah elektroda akan terionisasi. Ion argon akan menumbuki target ZnO:Al dan ion argon akan bersenyawa dengan ion ZnO:Al dan menumbuk substrat. Lapisan tipis yang terdepositasi pada substrat kaca tergantung pada suhu substrat, tekanan gas dan lama waktu sputtering. Pada proses deposisi lapisan tipis ZnO:Al ini, jarak anode dan katode 2 cm, beda tegangan anode dan katode 2 kV, sedangkan parameter sputtering yaitu suhu substrat, tekanan gas, dan lama waktu deposisi sputtering, dilakukan sebagai berikut.

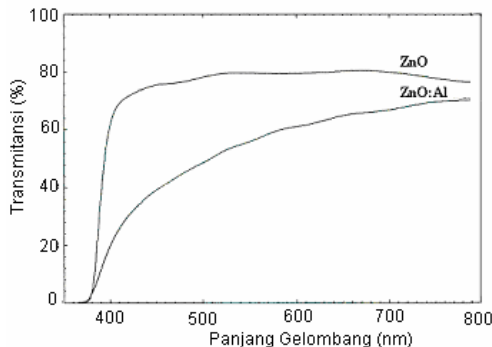
- a. Pendeposisian dilakukan dengan menggunakan target ZnO:Al optimum yaitu campuran (1,05)% berat Al.
- b. Suhu substrat = 450 °C, tekanan gas = 6×10^{-2} torr, waktu deposisi = 1,5 jam, tegangan = 2 kV, arus = 10 mA.
- c. Pendeposisian dilakukan pada tegangan DC yang tetap = 2 kV.

3. Karakterisasi

Untuk pengukuran karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) lapisan tipis ZnO:Al pada substrat gelas dilakukan dengan menggunakan peralatan Spektrofotometer UV-vis. Untuk pengamatan spektrum struktur kristal dilakukan dengan alat XRD, sedangkan untuk mengetahui struktur mikro lapisan tipis ZnO:Al diamati menggunakan peralatan Scanning Electron Microscopy (SEM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

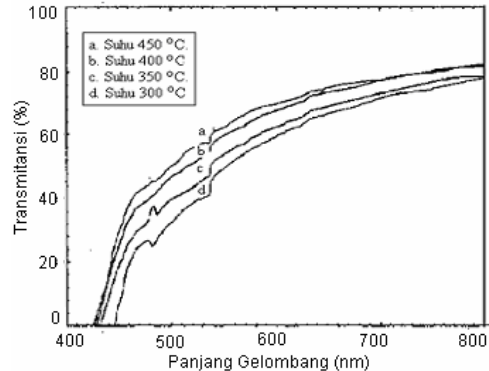
Dalam penelitian ini bahan cuplikan yang dideposisi dengan lapisan tipis ZnO:Al adalah gelas preparat. Untuk mendapatkan lapisan tipis ZnO:Al pada substrat gelas yang mempunyai sifat-sifat optik (transmitansi) yang optimum tergantung pada suhu substrat, tekanan gas dan lama waktu deposisi. Pembuatan lapisan tipis ZnO:Al pada permukaan substrat gelas dilakukan dengan variasi suhu, tekanan gas, lama waktu deposisi dan menggunakan metode sputtering. Dari hasil pengukuran karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) lapisan tipis ZnO:Al pada substrat gelas pada suhu 450 °C, tekanan gas = 6×10^{-2} torr, lama waktu deposisi = 1,5 jam dengan peralatan UV-vis ditunjukkan dalam Gambar 3, 4 dan 5, sedangkan untuk transmitansi lapisan tipis ZnO murni ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan transmitansi vs panjang gelombang untuk lapisan tipis ZnO murni pada suhu 450 °C, tekanan 6×10^{-2} torr, waktu deposisi 1,5 jam dengan peralatan UV-vis.

Pada Gambar 2 telah menunjukkan bahwa untuk lapisan tipis ZnO murni dihasilkan nilai transmitansi sekitar (62-80) %. Nilai transmitansi ini dihitung pada posisi panjang gelombang (400-800) nm. Apabila dihitung pada posisi panjang gelombang (500-800) nm, nilai transmitansinya sekitar (78 - 80) %.

Hasil pengukuran karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) lapisan tipis ZnO:Al pada substrat gelas untuk variasi suhu (300-450) °C, pada tekanan 6×10^{-2} torr, lama waktu deposisi 1,5 jam ditunjukkan dalam Gambar 3.

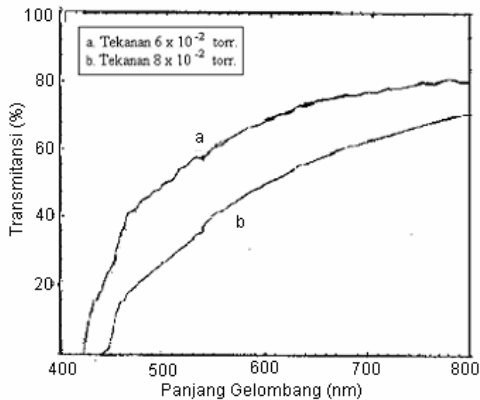


Gambar 3. Hubungan transmitansi vs panjang gelombang untuk variasi suhu pada tekanan 6×10^{-2} torr dan waktu deposisi 1,5 jam dengan UV-vis.

Lapisan tipis ZnO:Al pada Gambar 3 untuk variasi suhu (300-450) °C tersebut diatas dihasilkan nilai transmitansi sekitar (32-50) %, pada posisi panjang gelombang 500 nm, sekitar (66-75) % pada posisi panjang gelombang 650 nm dan sekitar (77-82) % pada posisi panjang gelombang 800 nm. Untuk variasi suhu dalam penelitian ini diperoleh hasil nilai transmitansi optimum sekitar (50-82) % pada suhu 450 °C dan pada posisi panjang gelombang (500-800) nm. Dengan naiknya suhu, maka deposisi lapisan tipis ZnO:Al yang terbentuk dalam proses sputtering akan semakin berkurang karena dalam proses tersebut terjadi penguapan sehingga nilai transmitansinya semakin tinggi.

Hasil pengukuran karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) lapisan tipis ZnO:Al pada substrat gelas untuk variasi tekanan gas ($6 - 8$) $\times 10^{-2}$ torr, pada suhu 450 °C dan waktu deposisi 1,5 jam ditunjukkan dalam Gambar 4. Karakterisasi lapisan tipis

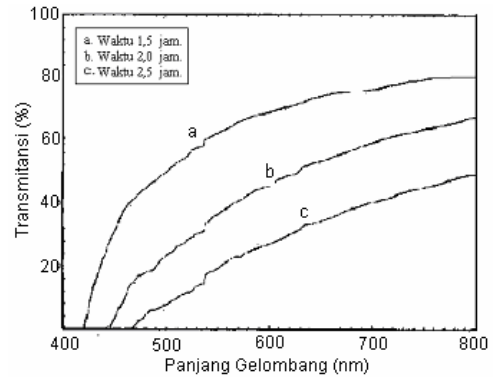
ZnO:Al pada Gambar 4 untuk variasi tekanan gas dibawah ini diperoleh hasil nilai transmitansi sekitar (50-27) %, pada posisi panjang gelombang 500 nm, sekitar (74-58) % pada posisi panjang gelombang 650 nm, dan sekitar (80-70) % pada panjang gelombang 800 nm.



Gambar 4. Hubungan transmitansi vs panjang gelombang untuk variasi tekanan pada suhu 450 °C dan waktu deposisi 1,5 jam dengan peralatan UV-vis.

Untuk variasi tekanan dalam penelitian ini diperoleh hasil nilai transmitansi optimum sekitar (50-80) % pada tekanan gas 6×10^{-2} torr dan pada posisi panjang gelombang (500-800) nm. Dengan semakin tinggi tekanan, maka semakin banyak gas argon yang keluar, sehingga lapisan tipis ZnO:Al yang terdeposisi akan semakin tebal dan nilai transmitansinya semakin rendah (turun).

Hasil pengukuran karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) lapisan tipis ZnO:Al pada substrat gelas untuk variasi waktu deposisi (1,5-2,5) jam pada suhu 450 °C dan tekanan 6×10^{-2} torr ditunjukkan dalam gambar 5.



Gambar 5. Hubungan transmitansi vs panjang gelombang untuk variasi waktu deposisi pada suhu 450 °C dan tekanan 6×10^{-2} torr dengan peralatan UV-vis.

Lapisan tipis ZnO:Al pada Gambar 5 untuk variasi waktu deposisi (1,5-2,5) jam tersebut diatas dihasilkan nilai transmitansi sekitar (49-7) %, pada panjang gelombang 500 nm, sekitar (74-34) % pada posisi panjang gelombang 650 nm dan sekitar (81-50) % pada panjang gelombang 800 nm. Untuk variasi waktu deposisi dalam penelitian ini diperoleh hasil nilai transmitansi optimum sekitar (49-81) % pada lama waktu deposisi 1,5 jam dan pada posisi panjang gelombang (500-800) nm. Dengan naiknya lama waktu deposisi, maka ketebalan lapisan tipis ZnO:Al yang terbentuk semakin meningkat sehingga nilai transmitansinya semakin turun.

Hasil nilai transmitansi lapisan tipis ZnO pada suhu, tekanan, waktu tersebut diatas sekitar (78-80) %. Sedangkan untuk lapisan tipis ZnO:Al nilai transmitansi optimum sekitar (50-82) % untuk suhu 450 °C, sekitar (50-80) % untuk tekanan 6×10^{-2} torr dan sekitar (49-81) % untuk waktu 1,5 jam. Lapisan tipis ZnO mempunyai nilai transmitansi optimum lebih besar bila dibandingkan dengan transmitansi lapisan tipis ZnO:Al, karena lapisan tipis ZnO mempunyai sifat tembus cahaya yang cukup besar. Sedangkan lapisan tipis ZnO:Al ini adalah lapisan tipis ZnO yang dikotori

dengan sedikit Al dan aluminium tidak mempunyai sifat tembus cahaya tetapi bisa memantulkan cahaya. Dengan demikian

lapisan tipis ZnO yang dikotori dengan sedikit Al akan berkurang nilai transmitansinya.

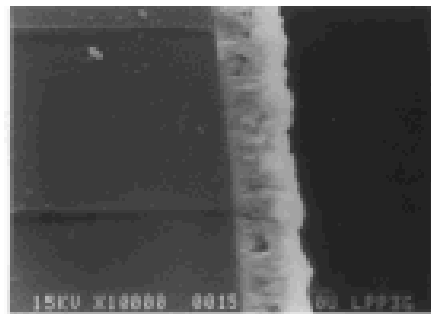
Tabel 1. Hasil transmitansi optimum lapisan tipis ZnO murni dan ZnO:Al dengan peralatan UV-vis pada posisi panjang gelombang (500 - 800) nm

No	BAHAN TARGET	SUHU, TEKANAN, WAKTU	TRANSMITANSI (%)
1.	Zn O murni	(450 °C, 6×10^{-2} torr, 1,5 jam)	(78 - 80)
2.	Campuran ZnO:Al	(450 °C, 6×10^{-2} torr, 1,5 jam)	(50 - 82)
3.	Campuran ZnO:Al	(450 °C, 6×10^{-2} torr, 1,5 jam)	(50 - 80)
4.	Campuran ZnO:Al	(450 °C, 6×10^{-2} torr, 1,5 jam)	(49 - 81)

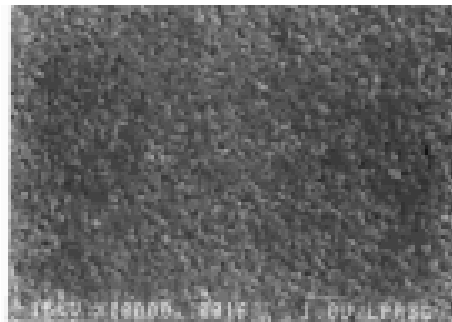
Dalam penelitian ini juga dilakukan pengamatan struktur mikro atau morfologi permukaan lapisan ZnO dan ZnO:Al pada kondisi optimum, yaitu pada suhu substrat 450 °C, tekanan 6×10^{-2} torr dan waktu deposisi 1,5 jam. Struktur mikro tersebut dilakukan karena menentukan sifat-sifat optik khususnya nilai transmitansi lapisan ZnO dan ZnO:Al.

Hasil foto SEM, ketebalan dan morfologi permukaan dari lapisan tipis ZnO pada suhu 450 °C, tekanan 6×10^{-2} torr dan lama waktu deposisi 1,5 jam dengan perbesaran 10.000 kali ditunjukkan dalam Gambar 6.

Berdasarkan gambar 6(a). diperoleh tebal lapisan ZnO sekitar 1,5 μm , dan dari gambar 6(b). dapat dilihat bahwa lapisan ZnO yang terbentuk dari butiran-butiran kecil yang terdistribusi secara homogen. Sedangkan gambar 7(a). memperlihatkan bahwa tebal lapisan ZnO:Al adalah 1,3 μm , dan Gambar 7(b) menampilkan struktur mikro dengan butiran-butiran yang tidak homogen. Hasil pengamatan struktur mikro tersebut menentukan sifat optik lapisan, terutama nilai transmitansinya seperti ditampilkan dalam Gambar 2, 3, 4 dan 5



a.

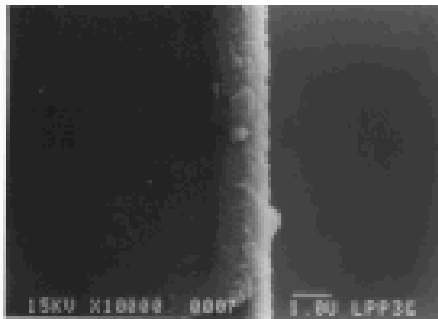


b.

Gambar 6. Hasil foto SEM ketebalan lapisan tipis ZnO (a) dan morfologi permukaan lapisan tipis ZnO (b) pada tekanan 6×10^{-2} torr, suhu 450 °C dan waktu deposisi 1,5 jam dengan perbesaran 10.000 \times

Hasil foto SEM ketebalan dan struktur mikro dari lapisan tipis ZnO:Al pada tekanan 6×10^{-2} torr, suhu 450 °C dan lama waktu deposisi 1,5 jam dengan

perbesaran 10.000 kali ditunjukkan dalam Gambar 7.



a.



b.

Gambar 7. Hasil foto SEM ketebalan lapisan tipis ZnO:Al (a) dan struktur mikro (b) pada tekanan 6×10^{-2} torr, suhu 450°C dan waktu deposisi 1,5 jam dengan perbesaran 10.000 kali.

KESIMPULAN

1. Karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) lapisan tipis pada substrat gelas dengan UV-vis diperoleh hasil nilai transmitansi optimum sekitar (78-80) % untuk lapisan tipis ZnO murni pada suhu 450°C , tekanan 6×10^{-2} torr, waktu deposisi 1,5 jam dan pada posisi panjang gelombang (500-800) nm.
2. Karakterisasi sifat-sifat optik untuk variasi suhu diperoleh hasil nilai transmitansi optimum sekitar

(50-82) % pada suhu 450°C , tekanan 6×10^{-2} torr, waktu deposisi 1,5 jam dan pada posisi panjang gelombang (500-800) nm.

3. Karakterisasi sifat optik untuk variasi tekanan gas diperoleh hasil nilai transmitansi optimum sekitar (50-80) % pada tekanan gas 6×10^{-2} torr, suhu 450°C waktu deposisi 1,5 jam dan pada posisi panjang gelombang (500-800) nm.
4. Karakterisasi sifat optik untuk variasi lama waktu deposisi diperoleh hasil nilai transmitansi optimum sekitar (49-81) % pada lama waktu deposisi 1,5 jam, suhu 450°C , tekanan 6×10^{-2} torr dan pada posisi panjang gelombang (500-800) nm
5. Hasil analisa foto dengan SEM, untuk lapisan tipis ZnO diperoleh tebal lapisan sekitar $1,5 \mu\text{m}$, morfologi permukaan dan butiran-butiran kecil terdistribusi secara homogen. Sedangkan untuk lapisan tipis ZnO:Al diperoleh tebal lapisan sekitar $1,3 \mu\text{m}$ dan morfologi permukaan yang terbentuk dengan butiran-butiran yang tidak seragam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada saudara Drs. Tjipto Suyitno, MT atas sumbang saran dan diskusi ilmiahnya tentang penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. KATSUYA TABUCHI, WILSON W. WENAS, MASAHIRO YOSHINO, A. YAMADA, "Optimization of ZnO Film for Amorphous Silicon Solar Cells", 11 th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Montreux, Switzerland, 12-16 October 1992.
2. KATSUYA TABUCHI, WILSON W. WENAS, AKIRA YAMADA, "Optimization of ZnO Film for

- Amorphous Silicon Solar Cells", Jpn, J. Appl. Phys, Vol, 32 (1993), Part I, No. 9A, 3764-3769.
3. K. TAKAHASHI AND M. KONAGAI, "Amorphous Silicon Solar Cells", North Oxford Academic Publishers Ltd, (1986).
 4. MAKOTO KONAGAI, "Device Physics and Optimum Design of (a-Si) Solar Cell", 5 th "Sunshine" Workshop on Solar Cells, December 8-9, (1992), Tokyo, Japan.
 5. TADATSUGU MINAMI, HIDEO SONOHARA, SHINZO TAKATA AND ICHIRO FUKUDA, "Low Temperature Formation of Textured ZnO Transparent Electrodes by Magnetron Sputtering", J. Vac. Sci. Technol. A 13 (3), May/Jun (1995).